

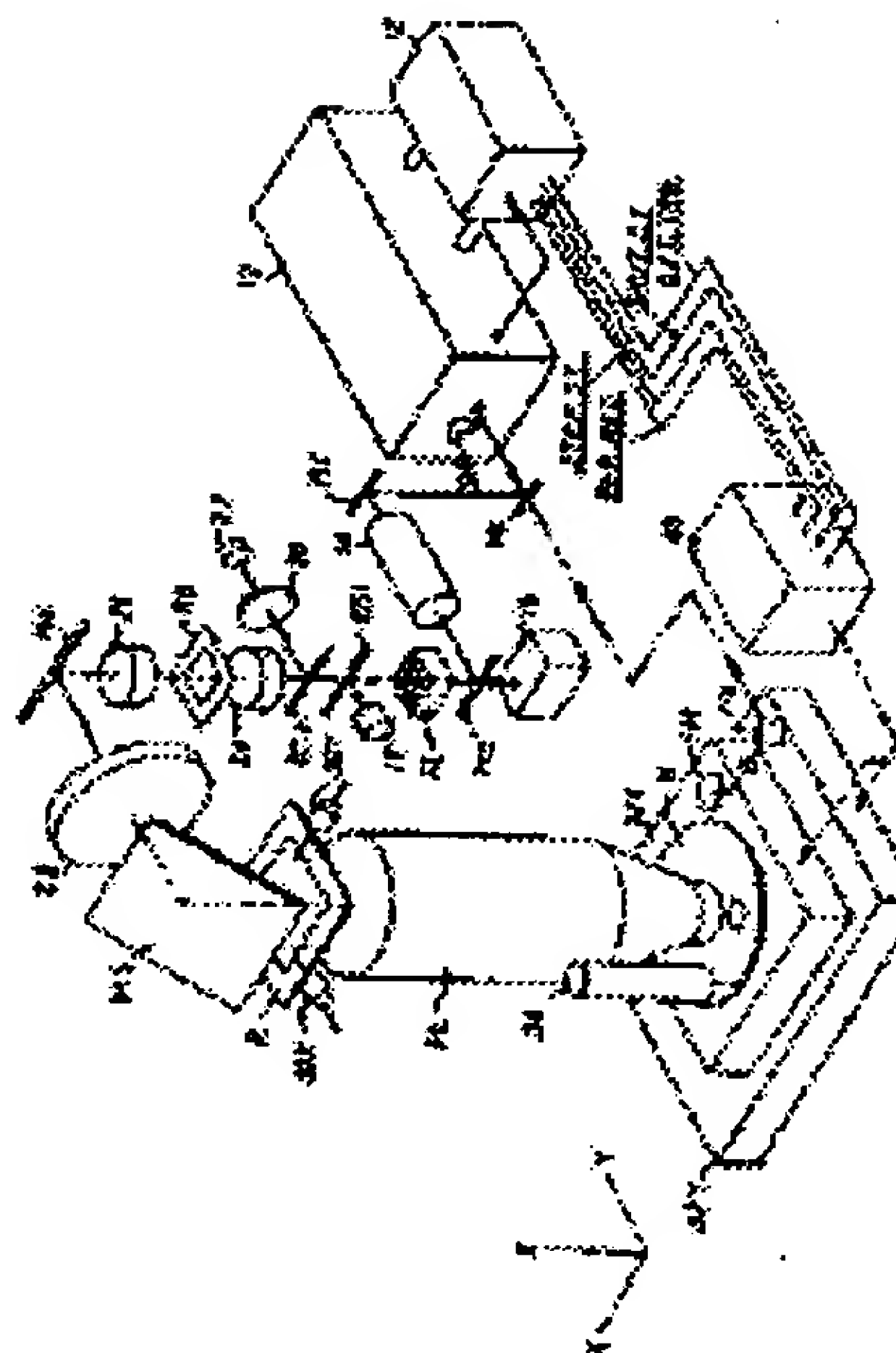
EXPOSURE DEVICE

Patent number: JP2294013
Publication date: 1990-12-05
Inventor: UEMURA TSUNESABURO
Applicant: NIKON CORP
Classification:
- international: H01L21/027; H01S3/101
- european:
Application number: JP19890115361 19890509
Priority number(s):

Abstract of JP2294013

PURPOSE: To inhibit a lowering of functions and decrease in accuracy as an exposure device to a minimum extent by making co-operations become closer so that the actions of partial gas replacement and gas injection may start at the timing which does not require the use of a laser light in the case of exposure sequence at the mainframe side of the exposure device.

CONSTITUTION: A requesting signal PGR.REQ through which the timing of partial gas replacement or gas injection is informed from the 1st control system 12 at the side of a laser light source 10 to the 2nd control system 40 at the side of an exposure device mainframe is outputted. When the 2nd control system 40 stops operation of using laser light in the case of the sequence of the exposure device, the requesting signal PGR.REQ is checked. Further, when this signal comes to a state of output, a signal STEP.ST indicating the ready condition of partial gas replacement or gas injection is outputted to the 1st control system 12. Disadvantageous performance as the exposure device is thus avoided.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

⑫ 公開特許公報(A)

平2-294013

⑬ Int. Cl.⁵

識別記号

庁内整理番号

⑭ 公開 平成2年(1990)12月5日

H 01 L 21/027
H 01 S 3/1017630-5F
2104-5F
2104-5F
2104-5F

H 01 L 21/30

3 0 1 G
3 1 1 L
S

審査請求 未請求 請求項の数 3 (全12頁)

⑮ 発明の名称 露光装置

⑯ 特 願 平1-115361

⑰ 出 願 平1(1989)5月9日

⑱ 発 明 者 植 村 恒 三 郎 東京都品川区西大井1丁目6番3号 株式会社ニコン大井製作所内

⑲ 出 願 人 株 式 会 社 ニ コ ン 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

⑳ 代 理 人 弁 理 士 渡 辺 隆 男

明 細 書

1. 発明の名称

露光装置

2. 特許請求の範囲

(1) 部分ガス交換、あるいはガス注入を必要とするレーザ光源からのレーザ光を用いて、被露光体を露光する装置において、

前記レーザ光源の部分ガス交換、又はガス注入の時期を検知して要求信号を出力する第1制御系と；

前記被露光体に対する露光動作が露光装置のシーケンス上で中断しているときに前記要求信号の有無を検知し、該要求信号が出力されているときは前記部分ガス交換、又はガス注入を実行させるとともに、該実行によって生じる前記レーザ光の出力変動が所定の状態に安定するまで前記露光装置のシーケンスの中断を続行させる第2制御系とを備えたことを特徴とする露光装置。

(2) 前記第1制御系は、前記レーザ光源を単独に制御可能であり、該レーザ光源はレーザ光の射

出口近傍に開閉シャッターを有し、

前記第1制御系は該シャッターの開閉状態を表わすシャッター状態信号を前記第2制御系へ出力することを特徴とする請求項第1項に記載の装置。

(3) 前記要求信号は、前記レーザ光源内の放電電極への印加電圧が所定のレベルよりも大きくなったときに出力することを特徴とする請求項第1項に記載の装置。

3. 発明の詳細な説明

〔産業上の利用分野〕

本発明は、エキシマレーザ等のガス変換、ガスチャージ等を必要とするレーザを露光光源とする半導体製造用の露光装置に関するものである。

〔従来の技術〕

近年、半導体集積回路の集積度が上がるにつれて、回路の最小パターン寸法は小さくなる傾向にあり、そのため露光光源として、従来主流であった水銀ランプに代わり、エキシマレーザを用いた露光装置が開発されてきている。エキシマレーザ露光装置は、一般にエキシマレーザ光源と露光装

置本体とて構成され、露光装置本体としては解像力、マスク製造性が優れている点で、現状では縮小投影型逐次移動方式、所謂ステッパーが主流である。このようなエキシマレーザ露光装置において、エキシマレーザと露光装置本体とは、電線若しくは光ファイバーのインターフェイスクーブルで結合され、露光装置本体内のメインコンピュータのシーケンスに従ってレーザを発光する方式が一般的である。インターフェイスの信号としては、例えば露光装置本体からエキシマレーザへは発光トリガ、高電圧の充電開始、発振開始、発振停止等を表わす信号、またエキシマレーザから露光装置本体へは発振スタンバイ完了、内部シャッターポジション、インターロック作動中等を表わす信号が挙げられる。

エキシマレーザは、一般にフッ素等のハロゲンガス、クリプトン、アルゴン等の不活性ガス、及びヘリウム、ネオン等の希ガスの3種の混合ガスをレーザチャンバーに封入し、チャンバー内の放電によりハロゲンガスと不活性ガスとが反応して

あるため、印加電圧が上限に達した際には、ハロゲンガス注入(HI:Halogen Injection)動作を行って、ハロゲンガス濃度を適正值に戻し、これに伴い印加電圧を下げてパルスエネルギーを一定に保つ必要があった。

このHI動作の様子を第3図に示す。

第3図(A)はエキシマレーザから射出されるパルスエネルギーを縦軸に取り、横軸に時間 t を取ったものであり、第3図(B)は縦軸にレーザチャンバー中の電極への放電印加電圧を取り、横軸に時間 t を取ったものである。第3図(A)に示すように、露光装置側で要求されるパルスエネルギーの設定値を中心に上限値と下限値とが定めると、エキシマレーザ光源は内部に設けられたエネルギーモニター(受光素子等)を使って、各パルス毎に設定値との大小関係を比較し、パルスエネルギーが低下してきたら、第3図(B)に示すように放電印加電圧を徐々に上げていく。放電印加電圧にも上限値と下限値とが定められており、その実際の電圧範囲はエキシマレーザ光源の内部

レーザ光(nSecオーダのパルス光)を放出する。ところが、レーザ光放出を繰り返すうち、ハロゲンガスがチャンバー内に発生する不純物と結合したり、チャンバーの内側に吸着したりするため、ハロゲンガスの濃度が低下し、レーザのパルスエネルギーが低下してしまう。これに対し、エキシマレーザを半導体露光装置の光源として使用する場合、パルスエネルギーが変動すると、

(1) 被露光物(ウエハ等)への到達エネルギー(露光量)の制御精度が低下する。

(2) 光学系に起因する被露光物上の干渉縞を低減する機能が低下する。

(3) パルスエネルギーモニター系、アライメント系の光電検出系の信号のS/N比が低下する。

等の不都合が生じる。このため、エキシマレーザはハロゲンガス濃度低下により低下していくパルスエネルギーをモニターして放電印加電圧にフィードバックし、放電印加電圧を徐々に高めていくことにより、パルスエネルギーを一定に保つようにしている。ところが、放電印加電圧には上限が

構造、メーカー等によって異なる。さて、時刻 t_1 で放電印加電圧が上限値に達すると、エキシマレーザ光源の内部に設けられた制御用プロセッサはHI動作が必要だと判断し、レーザチャンバー内に所定量のハロゲンガスを注入する。注入した直後にハロゲンガス濃度は元に戻るが、放電印加電圧は急激に元に戻す(低下させる)ことはできず、ある程度の時間をかける必要がある。その後の時刻 t_2 でも同様にHI動作が行なわれる。

このように放電印加電圧を徐々に低下させるのは、HI動作の直後は、レーザチャンバー内のガスが充分均一に混合しているとは言えず、パルスエネルギーがばらつく可能性が極めて大きく、このためHI動作の直後に放電印加電圧を急激に下げると、パルス光が発振されずに、パワーモニターすらできないといった不都合が起り得るからである。

ところがハロゲンガス注入を繰り返すうち、レーザチャンバー内の不純物が増加してくる。

この不純物の増加に伴ってハロゲンガス注入を

してもハロゲンガスがこれら不純物と結合してしまい（ハロゲンガス濃度の低下）、パルスエネルギーを一定に保つための最低印加電圧が上昇する。これにより、ハロゲンガス注入の周期が短くなり、やがてハロゲンガス注入を行ってもパルスエネルギーを一定に保つことが不可能となる。

第4図(A)、(B)は、その状態を表わし、第3図のグラフと対応したものである。第4図(B)に示すように、時刻 t_1 、 t_2 、 t_3 と徐々に注入周期が短くなり、時刻 t_4 以降では放電印加電圧が上限値にあるにもかかわらず、パルスエネルギーは徐々に低下していつてしまう。

このようにハロゲンガス注入の効果が無くなった場合、若しくは所定の条件まで低下した場合、前記3種の混合ガスを部分的に入れ換える、即ち部分ガス交換(PGR: Partial Gas Replacement)動作を実行してパルスエネルギーを維持する必要があった。部分ガス交換実行時の様子の一例を第5図に示す。第5図に伴って部分ガス交換を行う場合のパルスエネルギー、放電印加電圧の変化の様

子を以下に説明する。

第5図(A)、(B)は、それぞれ第4図(A)、(B)に対応したもので、時刻 t_1 、 t_2 、 t_3 は第4図中のものと同じでHI動作のタイミングを表わす。そして時刻 t_4 の後の時刻 T_a でPGR動作が実行される。

PGR動作では一般に、まずレーザチャンバー内のガスを一部抜き取るため、そのままパルス発光させたとしても第5図(A)に示すようにパルスエネルギーは一旦低下する。この際、放電印加電圧は前述のように既に上限値近くとなっているため、印加電圧を上げてパルスエネルギーを設定値に戻すことは難しい。この後、レーザチャンバー内に新しい混合ガスを所定量だけ注入する。この注入によってパルスエネルギーは増大して設定値(許容上限値)より大きくなるため、印加電圧を徐々に下げてパルスエネルギーを設定値に戻す。この後、再度部分ガス交換が必要となるまで、第3図と同様にハロゲンガス注入(HI動作)を繰り返す。

このPGR動作時に印加電圧を徐々に下げる理由も、先のHI動作の時と同じである。

以上のHI動作、PGR動作はエキシマレーザ光源内の制御プロセッサの指令でほぼ自動的に行なわれていた。

(発明が解決しようとする課題)

一方、露光装置本体側からエキシマレーザ光源を見た場合、前述したようにパルスエネルギーは一定であることが望ましいが、パルス等のエネルギー制御精度並びに上記ハロゲン注入、部分ガス交換等の要因から、完全に一定とするのは困難である。そのため、露光装置本体側でその機能及び仕様を満足するためのパルスエネルギー変動の許容値を設定し、エキシマレーザ側は常にパルスエネルギーが設定値に入るべく様々な工夫を実施している。

その1つの手法が、先の第3図～第5図で説明したHI動作、PGR動作であるが、露光装置側にとってみると、第5図(A)中の時間a、bで示した区間でパルスエネルギーが許容値を越えて

しまうといった問題点があった。この時間a、bはレーザ光源の構造、メーカー等によっても異なるが、現状では数秒～数分程度必要である。さらに露光装置側にとって重大な欠点は、これら時間a、bの区間、すなわちHI動作、PGR動作が専らレーザ光源側の制御のみで発生していたことである。

従って、ステップアンドリビート方式でウエハを露光していく時に、1つのショット領域の露光中(通常数+パルス以上が必要)にHI動作、又はPGR動作が非同期に行なわれると、そのショット領域以降の多くのショット、又は次のウエハ上のショット領域にいたるまで、ほとんどのショットの露光に大きなダメージを与えることになる。

もちろん、エキシマレーザ光を他の目的、例えばレチクル(原版)とウエハとの相対位置合わせのために使用する場合でも、その位置合わせ期間中にHI動作、PGR動作が発生するとアライメントエラーが起ることになる。

本発明はこのような問題点に鑑みてなされたも

ので、エキシマレーザ光源等のように一部ガス交換、一部ガス注入等を必要とするレーザ光源を使用する露光装置において、露光装置としての機能低下、精度低下を極力少なく抑えることを目的とするものである。

(課題を解決する為の手段)

そこで本発明では、例えばレーザ光源(10)側の第1制御系(12)から部分ガス交換、又はガス注入の時期がきたことを露光装置本体側の第2制御系(40)へ知らせる要求信号(PGR、REQ)を出力するようにした。

そして第2制御系(40)は露光装置のシーケンス上でレーザ光を使う動作が中断しているときに、要求信号(PGR・REQ)をチェックし、この要求信号が出力されているときは部分ガス交換、又はガス注入が実行できることを表わす信号(STEP・ST)を第1制御系(12)へ出力するとともに、この実行によって生じるレーザ光の出力変動が所定の状態に安定するまで露光装置のシーケンス上の中断を続行させるようにした。

(実施例)

第1図は本発明の実施例による露光装置全体の構成を示す斜視図である。

10はエキシマレーザ光源の本体部であり、内部には希ガスハライド等の混合ガスが封入されたレーザチャンバー、共振のためのフロントミラー(半透過性)とリアミラー、波長狭帯化のための波長選択素子(回折格子、プリズム、エタロン等)、発振波長の絶対値をモニターするための分光器、レーザパワーのモニター用のディテクタ、及びシャッターSH等が設けられている。レーザチャンバーに対するHI動作、PGR動作は制御系12によって行なわれるが、本実施例では制御系12内のプロセッサのみによる単独制御は行なわず、露光装置本体との連携で協調制御するようにしてある。また制御系12は波長安定化のための制御、放電印加電圧の制御等もあわせて行なう。

さて、エキシマレーザ光源10からのパルス光は可動ミラーM₁、固定ミラーM₂を介してビー

(作用)

本件発明では、レーザ光源側での非同期な部分ガス交換、又はガス注入によって引き起されるレーザ出力の変動をさけるために、露光装置本体側での露光シーケンス(あるいはアライメントシーケンス)上でレーザ光を使わないタイミングで、部分ガス交換やガス注入の動作を開始するように協調させた。

ム成形光学系14に入射して所定の断面形状、サイズに成形される。ビーム成形光学系14からのパルス光は駆動部16によって所定角度内で揺動する揺動ミラーM₃で反射された後、オブチカルインテグレータとして機能するフライ・アイレンズFLに入射し、多数の2次光源(スポット光)に変換される。フライ・アイレンズFLの各エレメントレンズの射出側にできたエキシマビームの各スポット光はビームスプリッタBS₁、BS₂を透過し、コンデンサレンズ系24によって、レチクルブラインド(照明視野絞り)RB上でほぼ一様な強度分布となるように重ね合わされる。レチクルブラインドRBを通過したエキシマ光はレンズ系26、固定ミラーM₄、主コンデンサーレンズ28、及び固定ミラーM₅を介してレチクルRの回路パターン領域を照明する。ここでレチクルブラインドRBはレンズ系26と主コンデンサーレンズ28とによって、レチクルRと共役になっている。レチクルRは専用のレチクルアライメント系30X、30Yによって装置本体に対してX、

Y、θ方向に位置決めされている。レチクルRの回路パターン^の像は投影レンズPLによってウエハW上に縮小投影される。ウエハWはXステージ32X上に載置され、このXステージ32Xはベース上をY方向に移動するYステージ32Y上をX方向に移動する。これによってウエハWは投影像面に沿って2次元移動し、ステップアンドリピート方式の露光等が行なわれる。またXステージ32X上には、ウエハWとはほぼ同じ高さで、透過型の基準スリットをもつ基準マーク板FMが設けられている。そして基準マーク板FMの下にはXステージ32Xに固定されたミラー（不図示）が設けられている。この基準マーク板FMは、可動ミラーM₁が図示の位置から退避したとき、エキシマレーザ光源10からのパルス光を、複数のミラー及びYステージ32Y上に固定されたミラーM₂を介して下面から受けるように配置されている。ミラーM₁に入射するエキシマビームはほぼ平行光束で、Y軸と平行であり、ミラーM₁によってX方向に直角に反射され、基準マーク板FM

発光スリットからのパルス光を一部分岐させ、レンズ系20を通して光電素子（フォトマル等）22で受光する。この光電素子22の受光面は、レンズ系24、26、28等によって投影レンズPLの瞳面（入射瞳もしくは出射瞳）とほぼ共役に配置されている。また投影レンズPLの入射瞳には、フライ・アイレンズFLによって形成された多数の2次光源の像を結像させて、ケーラー照明を行なっている。

さて、上記の構成において、可動ミラーM₁とレーザ光源10との間には、露光装置（ステッパ）本体を収納するサーマルチャンバーの隔壁があり、レーザ光源10はサーマルチャンバーの外部に設置されている。またステッパ本体は主制御装置40によって統括制御され、XYステージ32X、32Yの移動、レチクルアライメント系30X、30YによるレチクルRの位置決め、ウエハアライメント系34によるウエハWの位置検出、動作、レチクルブラインドRBの設定、光電素子22と基準マーク板FMを使った一連の相対

の下ミラーで垂直に上方へ反射される。従ってXステージ32X、Yステージ32Yがどのように移動しても、エキシマビームはかならず基準マーク板FMの下面に入射する。

ところでウエハWのアライメント（マーク検出）は、オフ・アクシス方式のウエハ・アライメント系34で行なわれる。ウエハアライメント系34はウエハW上のレジスト層を感光させない波長域の照明光（一様照明、又はスポット光）を用いて、ウエハW上の特定位置のアライメントマークを光電検出する。さらにウエハアライメント系34は投影レンズPLに対して一定の位置関係で固定されているが、ウエハW上のマークの検出中心（アライメント系内の指標やスポット光）と、レチクルRの回路パターン^の投影像の中心との相対位置関係は、レチクルRの交換の毎にわずかに異なってくるため、基準マーク板FMを用いて、その相対位置関係を計測できるようにしてある。そのために、照明系の光路中に配置されたビームスプリッタBS₁を介して、基準マーク板FMの

位置関係のチェック動作、ビームスプリッタBS₁で反射されたパルス光の一部を受光する光電素子18を用いた露光量制御動作、あるいは振動ミラーM₂の振動によるスペックル（エキシマビームの可干渉性によって生じる干渉縞等）低減動作等を実行する。

尚、XYステージ32X、32Yの位置は、レーザ干渉式測長器（干渉計）によって座標値として逐次計測されており、この座標値は主制御装置40にも入力され、各種位置計測に使われる。

以上のステッパ側の構成は、本発明ではあくまでも一例に過ぎず、それに限られるものではない。

さて本実施例では、ステッパ側の主制御装置40とレーザ光源側の制御系12との間に、新たに4本のインターフェイス信号を設け、協調制御ができるようにした。もちろん、その他のインターフェイス信号も当然に設けられているが、本発明に関するものに限って図示してある。4本のインターフェイス信号の名称と機能は次の通りである。

信号PGR. REQ. (PGR REQUEST)

エキシマレーザ光源側から露光装置本体への信号であり、部分ガス交換(PGR動作)又はハロゲンガス注入(HI動作)を実行する必要が迫ったことを、信号レベルを変化させる(本実施例では、L₀→H₁)ことにより露光装置本体へ知らせるためのものである。また、部分ガス交換又はハロゲンガス注入の操作が終了したことを、信号レベルをH₁→L₀に変えることにより露光装置本体へ知らせる機能も有する。

信号STEP. ST. (STEPPER STATUS)

露光装置本体からエキシマレーザ光源へ、その動作モードを指令するレベル信号であり、L₀の時、エキシマレーザ光源10は露光装置本体からのEXT. TRG. 信号に同期してレーザ光を1パルスずつ放出する。本信号がH₁の時のエキシマレーザの動作モードは、次の2通りがある。エキシマレーザ光源が信号PGR. REQ. をL₀にしている間、即ち露光装置本体に対する部分ガ

ス交換又はハロゲンガス注入の実行要求が無い間に本信号がL₀→H₁に変化すると、エキシマレーザ光源はレーザ光放出口にあるシャッターSHを閉じ、適当な低い周波数で自己発振してパルスエネルギー、絶対波長等のロックを行う。また、信号PGR. REQ. がH₁の時に本信号がL₀→H₁に変化すると、エキシマレーザ光源はシャッターSHを閉じ、部分ガス交換又はハロゲンガス注入を実行する。

信号SHUT. ST. (SHUTTER STATUS)

エキシマレーザ光源から露光装置本体へのエキシマレーザ内のシャッター位置を示すレベル信号であり、本実施例では開でH₁、閉でL₀レベルとなる。レベルを変化させるタイミングは、シャッターSHを閉じる際は完全にシャッターSHが閉じてからH₁→L₀に変化し、開く時は完全に開いてからL₀→H₁に変化させる。

信号EXT. TRG. (EXTERNAL TRIGGER)

露光装置本体からエキシマレーザ光源へのレーザ光放出のトリガー信号であり、レーザ光源側は本信号のエッジ検出によりレーザ光を放出する。トリガー信号1つが、1パルスのレーザ光放出に対応する。

以上、4つのインターフェイス信号に基づいて、本実施例ではレーザ光源側とステッパー本体側との協調制御が行なわれる。

そこで次に本実施例の制御動作について説明するが、その前にステッパーにおけるエキシマレーザ光を使った露光動作とアライメント動作の夫々について簡単に説明する。

ウエハW上の1つのショット領域は、スペックル低減と露光量制御精度との関係で、数 \times パルス以上で露光される。スペックル低減は、フライ・アイレンズFLを使うことによって生じる像面上の干渉縞を、揺動ミラーM₂を微小角度ずつ偏向しつつレーザパルスを発振させることで、干渉縞のピッチ方向に微動させ、1ショットの露光完了後にウエハ上の干渉縞のコントラストを実用上影

響がない程度(コントラスト値として $\pm 1\%$ 程度)まで押える方式で行なわれる。この場合、像面(ウエハ面)上で干渉縞のコントラストを低減させるのに必要な揺動ミラーM₂の振れ角(半周期) α とその振れ角 α の間で必要なレーザパルス光の数N_pとは、実験等によって一義的に決まっている。

一方、1ショットの適正露光量E_vもレジストの種類、厚さ等によって自ずと決まっているため、スペックル低減に必要なパルス数K \cdot N_p(Kは揺動ミラーM₂の振れ角 α の半周期毎に1ずつ増える自然数)との兼ね合いで、1パルス毎の平均パルスエネルギーE_pを減光フィルター等で設定して露光する必要がある。露光の際は、光電素子18で検出した各パルス光の実エネルギーを積算して適正露光量に達したか否かをモニターする。あるいは、フライ・アイレンズFLの手前に高速可変減光フィルターを設け、パルス数K \cdot N_p、振れ角 α の条件を満たした状態で、パルス発光毎に光電素子18によって検出されたエネルギーの

積算値を、その時点での目標積算値と比較し、次のパルス発光のエネルギーを高速可変減光フィルターで微調していく方法でもよい。

このように、スペックル低減のために必要なパルス数 $K \cdot N_p$ が予め決められていることから、1ショットの露光中、パルス $K \cdot N_p$ ($K=1, 2, 3, \dots$ のいずれか1つ)に達する前に、第5図(A)に示した時間aが始まると、その時点からパルス光の平均エネルギー E_p が増大するため、十分なスペックルコントラストの低減が行なわれる前に適正露光量に達してしまうといった不都合が生じる。特にPGR動作の際は、第5図(A)の時間bのように、パルスエネルギーの変動量が大きくなるため、スペックル低減、露光量制御にとっては著しく不都合となる。

またエキシマレーザ光を使うアライメント動作としては、基準マーク板FMの透過スリットをXYステージによって投影像面内で一次元にスリット長手方向と交差する方向に走らせ、そのスリット像をレチクルR上の透過スリットマークに結合

め、例えばエキシマレーザ光源10内のパワーディテクターからの光電信号を各パルス発光毎に取り込み、光電素子22の光電信号のレベルを割算器等で規格化することが必要である。尚、規格化のためのディテクターはステッパ本体内に設けてもよく、具体的には第1図中のステージ上のミラーM₁の近傍のビームスプリッタで分岐されたパルス光を受光するように設けられる。

以上の動作によって、レチクルRのスリットマーク（もしくはレチクル中心点）の投影位置がXYステージの移動座標系の値として規定される。さらに基準マーク板FM上のスリット等をウェハアライメント系34の検出中心でとられたときのXYステージの位置をレーザ干渉計で読み取ることによって、レチクルRの投影像中心とウェハアライメント系34の検出中心との移動座標系における相対位置関係が規定される。

このようなアライメント動作の間、特に光電素子22からの光電信号を取り込んでいる最中に、PGR動作等が開始されると、取り込んだ信号波

させ、このスリットマークを透過したエキシマ光をミラーM₁、コンデンサーレンズ28、ミラーM₂、レンズ系26、24、ビームスプリッタB₁を介して光電素子22で受け、レチクルRのスリットマークの投影位置をXYステージの移動座標系上で認識する。この際、エキシマレーザ光源10は、ステッパ側のレーザ干渉計からの計測パルスにตอบสนองしてパルス発振するように、信号EXT、TRG.を出力する。レーザ干渉計は、XYステージ32X、32Yが例えば0.01 μ m移動するたびに、計測パルス（アップダウンパルス）を出力するので、主制御装置40はこの計測パルスを適当に分周して信号EXT、TRG.を作る。そして光電素子22からの光電信号レベルは、パルス光の発振後にA/D変換器によってデジタルサンプリングされ、各パルス発光毎にメモリ内にアドレス順に記憶される。このアドレスがXYステージの座標位置と一義的に対応している。ただし、エキシマレーザ光のエネルギーは、1パルス毎に±数%～数十%程度のばらつきがあるた

形のS/N比が低下することになり、アライメント精度が低下するといった不都合がある。

次に、第2図を参照して、本実施例の動作を説明する。第2図(A)、(C)、(D)、(E)はそれぞれ信号STEP、ST、信号SHUT、ST、信号EXT、TRG.、信号PGR、REQ.の状態、第2図(B)はエキシマレーザ光源10内のシャッターSHの位置状態を示す。第2図(F)、(G)はそれぞれパルスエネルギーの時間変化と放電印加電圧の時間変化を表わす。さて、第2図(A)において、信号STEP、ST、がL₀のときの期間④は、通常のウェハ露光の実行を示し、H₁のときの期間⑤は、ステッパ本体がエキシマレーザ光源に対して数秒、若しくはそれ以上の間、発光トリガーを送出しない動作、例えばウェハ交換、レチクルアライメント系30X、30Yによるレチクルアライメント、ウェハアライメント系34によるウェハアライメント等の動作を実行している状態を示す。期間⑥では、1枚のウェハに対してステップアンドリピート方式で

各ショット毎に露光が繰り返されるが、この時第2図(D)に示した信号EXT, TRG. のトリガパルス列の各集合Sが1ショットの露光に対応している。

さて、ステッパーは1枚のウエハに対する露光(期間④)を終了すると、信号STEP, ST. ①のようにLからHに変える。これを認識したエキシマレーザ光源は、シャッターSHを閉じ始め(②)、シャッターが完全に閉じた時点で信号SHUT, ST. をLにした(③)後、数Hz以下の低い周波数で自己発振を開始して(④)、パルスエネルギー、絶対波長等のロック(フィードバック制御)を行う。ステッパー本体は、この間に前述の発光トリガーを送出しない動作(期間⑤)を行った後、信号STEP, ST. をHからLに変える(⑥)。これを認識したエキシマレーザ光源は、自己発振を停止させた後、シャッターSHを開き始め(⑦)、シャッターが完全に開いた時点で信号SHUT, ST. をL→Hに変える(⑧)。これを認識したステッパー本体

は、例えば1つのショット領域を露光するのに必要な予想し得る最長の露光時間(もしくはエキシマビームを用いた光電検出の際の光電信号取り込み時間)にマージンを加えた時点T_mだけ、部分ガス交換又はハロゲンガス注入の最終開始必要時期T_aより前に設定すれば良い。

さて、ここでは2番目のショット領域を露光中(トリガパルス列S₂の送出中)に信号PGR, REQ. が変化しているため、ステッパー本体は2番目のショットの露光終了後、次の3番目のショット領域へXYステージ32X, 32Yをステップングさせてから、信号PGR, REQ. をチェックして、信号PGR, REQ. がHとなったことを認識する(⑩)。これにより、ステッパー本体のシーケンスは3番目のショット領域への露光開始を中断し、信号STEP, ST. をLからHに変える(⑪)。エキシマレーザ光源は信号PGR, REQ. がHの間に信号STEP, ST. がLからHとなった時は、それを部分ガス交換又はハロゲンガス注入開始指令と

は、次のウエハに対する露光動作を開始すべく、信号EXT, TRG. としてトリガパルス列の集合S₁, S₂, …を出力する。尚パルス列S₁, S₂の間はXYステージ32X, 32Yのステップングである。

さて、このようなステッパー本体の動作シーケンスとは非同期に、エキシマレーザ光源は部分ガス交換、若しくはハロゲンガス注入を実行する必要性が生じる。ここでは部分ガス交換(PGR動作)を行う場合について示す。ステッパー本体はウエハ上の各ショット領域の露光を開始する前に、信号PGR, REQ. の状態をチェックし、それがLならば第2図(D)のパルス列S₁, S₂のように露光を行う。一方、トリガパルス列S₂の送出中、すなわち2枚目のウエハの2番目のショットの露光中に、エキシマレーザ光源は放電印加電圧が上限値に近づいたこと(⑫)を検知して、部分ガス交換の実行要求として信号PGR, REQ. をLからHに変える(⑬)。この信号PGR, REQ. をLからHにするタイミ

認識し、シャッターSHを閉じて(⑭)、信号SHUT, ST. をHからLへ変えた(⑮)後、適切な周波数(例えば④の場合よりは高い周波数)で自己発振しながら部分ガス交換を実行する(⑯)。

その後、エキシマレーザ光源はパルスエネルギーをモニターしながら、それが許容値内に戻ったら(⑰)、自己発振を停止して信号PGR, REQ. をHからLに変える(⑱)。これを認識したステッパー本体は、エキシマレーザ光源に対する露光再開の指令として、信号STEP, ST. をHからLに変える(⑲)。エキシマレーザ光源は、これを認識したら、シャッターSHを開き(⑳)、信号SHUT, ST. をHにする(㉑)。ステッパー本体はこれを認識した後、信号EXT, TRG. としてトリガパルス列S₃, S₄, …を送出して、3番め以降のショット領域の露光を開始する(㉒)。

以上、本シーケンスではPGR動作について説明したが、H動作についても全く同様に実行さ

れる。さらに、アライメント動作においてエキシマレーザ光を用いる場合も、パルス光の光電検出動作に入る直前にステッパー本体側で信号PGR、REQ.の状態をモニターし、それがL0であればそのまま光電検出動作に入り、H1であればエキシマレーザ光源側はPGR動作又はH1動作を開始し、ステッパー側は待期状態、あるいはエキシマレーザ光を用いない他の動作（ウェハ交換、ウェハアライメント等）を優先的に実行するようにする。

ところで第2図(D)の④、⑤では、シャッターSHが閉じている状態で、低い周波数のもとでパルス光を発振させているが、これは1つには、エキシマレーザ光源10の内部の分光器に発振パルス光の狭帯化後の波長変化を検出させる必要があるからである。もう1つは、PGR動作、H1動作に伴って放電印加電圧を調整するため、あるいは次のショットS_iに対するパルスエネルギー設定のために、エキシマレーザ光源10内に設けられたパワーモニター（光電素子）にパルス光を

断するようにしても良い。

尚、シャッターSHは露光装置本体側に設けても構わない。また、信号PGR、REQ.による実行要求発生に対し、シャッターSHを閉じて部分ガス交換又はハロゲンガス注入を行う際のレーザ発生のトリガーは、本実施例ではエキシマレーザ光源側の自己発振としているが、露光装置本体からのトリガー信号（EXT. TRG.）により発光するようにしても構わない。

ところで、第2図に示したシーケンスでは、ステッパー側がタイミング⑩で信号PGR、REQ.がH1かL0かをチェックするようになっていた。

しかしながら長時間露光を必要とする被露光体の場合等では、第2図(E)、(F)のように信号PGR、REQ.がタイミング⑩でH1に立ち上がってから一定時間T_mが経過してからPGR（又はH1）動作が開始されるため、時間T_mをかなり長く設定しなければならない。時間T_mを長くすることは、PGR、H1動作が開始されるまでに、レーザ光のパルスエネルギーが設定値か

受光させる必要があるからである。

また、本実施例の信号PGR、REQ.は、ステッパーへの露光中断又は再開を意味するので、エキシマレーザ光源10の絶対波長制御や、スペクトル半値幅制御（狭帯化）が部分ガス交換やハロゲンガス注入時に、ステッパーにとって不都合な挙動を示すことを分光器等で検知するようにし、不都合なときは、信号PGR、REQ.をH1にすればその不都合を回避することが可能である。また、本実施例の信号PGR、REQ.による実行要求発生（L0→H1）に対し、ステッパー本体で実行中のシーケンスが、部分ガス交換又はハロゲンガス注入によるパルスエネルギー変動に対して許容可能である場合は、そのシーケンスを中断してシャッターSHを閉じることなしに、部分ガス交換又はハロゲンガス注入を実行させても良い。また、部分ガス交換要求とハロゲンガス注入要求とを別の信号線として、露光装置本体のシーケンスが各々の実行要求に対し、シャッターSHを閉じて各々の要求に対して実行するか否かを判

ら低下していくことを意味する。

そこでステッパー本体側にタイマー等を設け、あるショットの露光動作中、例えばパルス光とパルス光の発光タイミングの間で、信号PGR、REQ.の状態をチェックし、それがH1レベルになっていたらタイマーを起動させて時間T_mを計時する。そして時間T_mの終了時に、まだ露光動作が続いているか否かをチェックし、露光動作が中断しているときは、先の実施例と同様にPGR、H1動作を実行する。時間T_mの終了時に露光動作が続いているときは、そのときまでの積算露光量やパルスエネルギー（平均値）等を記憶した状態で、露光動作（パルス光の照射）を強制的に中断し、PGR、H1動作に入る。PGR、H1動作完了後、記憶してある積算露光量から引き続き適正露光量が得られるまで露光を再開する。このように、本発明では、露光動作が露光装置のシーケンス上で中断している状態として、パルス光とパルス光の発振の間の極めて短い時間のことも含めている。

また、ステッパ側にはショット露光状態を表わす信号（ショットステータス）を出力する機能を設け、このショットステータス信号と PGR、REQ. 信号とのアンド（理論積）で、第2図（A）の信号STEP、ST. をHレベルにしてもよい。すなわちショットステータス信号は、あるショットの露光中はLレベルになり、ショットとショットの間のステッピング中あるいはウエハ交換中等、エキシマレーザを使わないタイミングでHレベルになるようにする。従って、信号PGR、REQ. がショット露光中にHレベルになると、そのショットの露光が完了した時点で直ちに信号STEP、ST. がHになり、PGR、HI動作が開始される。

さて、PGR動作、HI動作のとき、パルスエネルギーは第5図（A）、又は第2図（F）に示すように瞬間的に許容上限値を超えて、かなり大きくなる傾向にある。この傾向を利用して、さらに露光再開までの時間を短縮する方法も考えられる。

このようにすれば、信号PGR、REQ. がHの状態であっても、多少早めに露光の再開ができる。そのためには、シャッターSHの開閉タイミング（SHUT、ST.）をそれに合わせて変える必要があることは言うまでもない。

パルスエネルギーの大きな変動に対して可変減光フィルターを使う場合、シャッターSHは、可変減光フィルターの後に設けるようにし、可変減光フィルターを通ったパルス光のエネルギーをモニターしながら、減衰率の制御をするとともに、シャッターSHの開放を実行させるようにしてもよい。

ところで、第2図（F）、（G）では時間 T_m を1ショットの最長露光時間を基準に見積ったが、さらに数ショット分の露光時間を見込んだ長さにして、1枚のウエハ上の残りの未露光ショット数との兼ね合いで、1枚のウエハの露光処理完了までPGR動作、HI動作を待つか、1枚のウエハの処理中でPGR動作等に入るかを判断するようにしてもよい。

一般に、PGR動作のとき、パワーモニターによってパルスエネルギーが高すぎると判断されると、放電印加電圧は、微小ステップずつ徐々に低下させるようにしている。このため、1パルスの発光で許容上限値以上か否かを検知し、2パルス目以降からは予想によって放電印加電圧を急激に低下させることが難しい。

そこで、第2図（F）、（G）のようにエキシマレーザ光源側でのPGR動作はそのままにしておき、ステッパ側にさらに可変減光フィルターを設け、このフィルターの減衰率の時間的な変化を、第2図（F）中の時間 T_m 内のパルスエネルギー変動特性とほぼ一致させるように制御するのである。

この可変減光フィルターは、PGR動作中でパルスエネルギーがピークになった時点から徐々に減衰率を低下（すなわち透過率を上昇）させていき、フィルター入射前の元々のパルスエネルギーが許容値内になったとき減衰率が零（そのフィルターの最大透過率）になるように自動制御する。

さらに、PGR動作が必要な場合は、放電印加電圧も上限近くに達しているが、上限値のままでも、ある程度パルス数の間は、パルスエネルギーが許容下限値以上を持続することができるので、その分を見込んで露光動作等の中断時期を判定してもよい。

尚、本実施例ではレチクル（又はマスク）のパターンをウエハのレジスト層へ焼き付ける露光装置を例示したが、この種のレーザ光源を用いた加工装置（レーザアニール、レーザリペア等）であっても全く同様の問題が生じるので、本発明の同一の構成によって同様の効果を得ることができる。

以上、本実施例では投影レンズを用いたステッパについて説明したが、本発明は他のいかなる型式、方式の露光装置でも全く同様に適用できるものである。さらに、レーザ光源としては希ガスハライドを用いるエキシマとしたが、レーザチャンバ内の部分ガス交換、ガス注入、ガス循環等を必要とする他のレーザ光源を用いても同様の効果が得られる。

(発明の効果)

以上のように本発明によれば、レーザー光源は露光装置本体のシーケンスと非同期に部分ガス交換、又はガス注入(補充)を実行できるとともに、露光装置としての性能を損なうことを回避できるという効果がある。

4. 図面の簡単な説明

第1図は本発明の実施例による露光装置とレーザー光源の構成を示す構成図、第2図は第1図に示した構成による動作の一例を説明するチャート図、第3図はハロゲンガス注入実行時の動作を説明するチャート図、第4図はレーザーチャンバー内の不純物が増加した際のハロゲンガス注入時の動作を説明するチャート図、第5図は部分ガス交換実行時の動作を説明するチャート図である。

(主要部分の符号の説明)

- 10 … エキシマレーザー光源、
- 12 … 制御系、
- 18、22 … 光電素子
- 28 … 主コンデンサーレンズ

30X、30Y … レチクルアライメント系

32X、32Y … XYステージ

34 … ウエハアライメント系

40 … 制御装置

R … レチクル

W … ウエハ

SH … シャッター

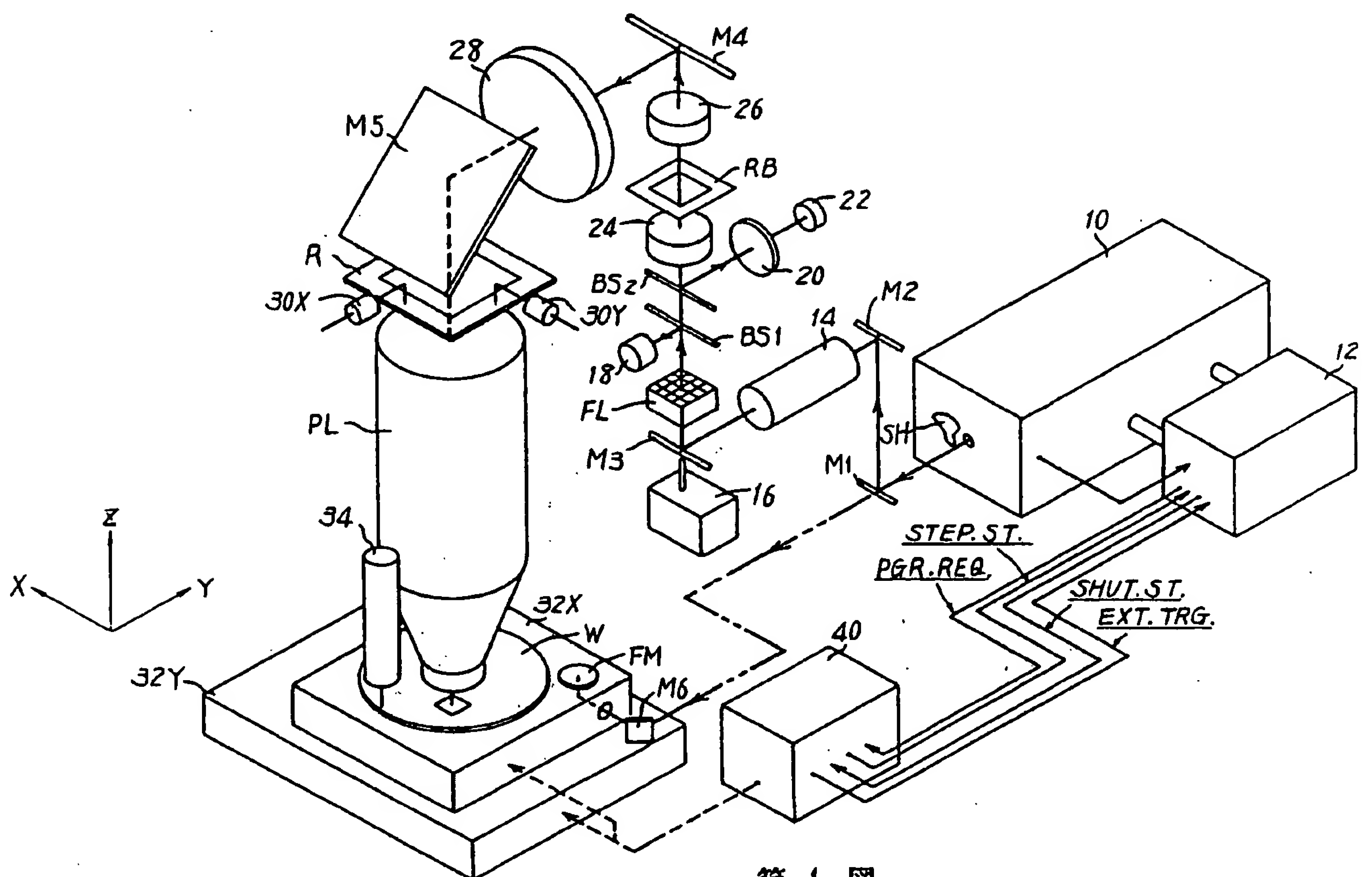
M₁ … 揺動ミラー

PL … 投影レンズ

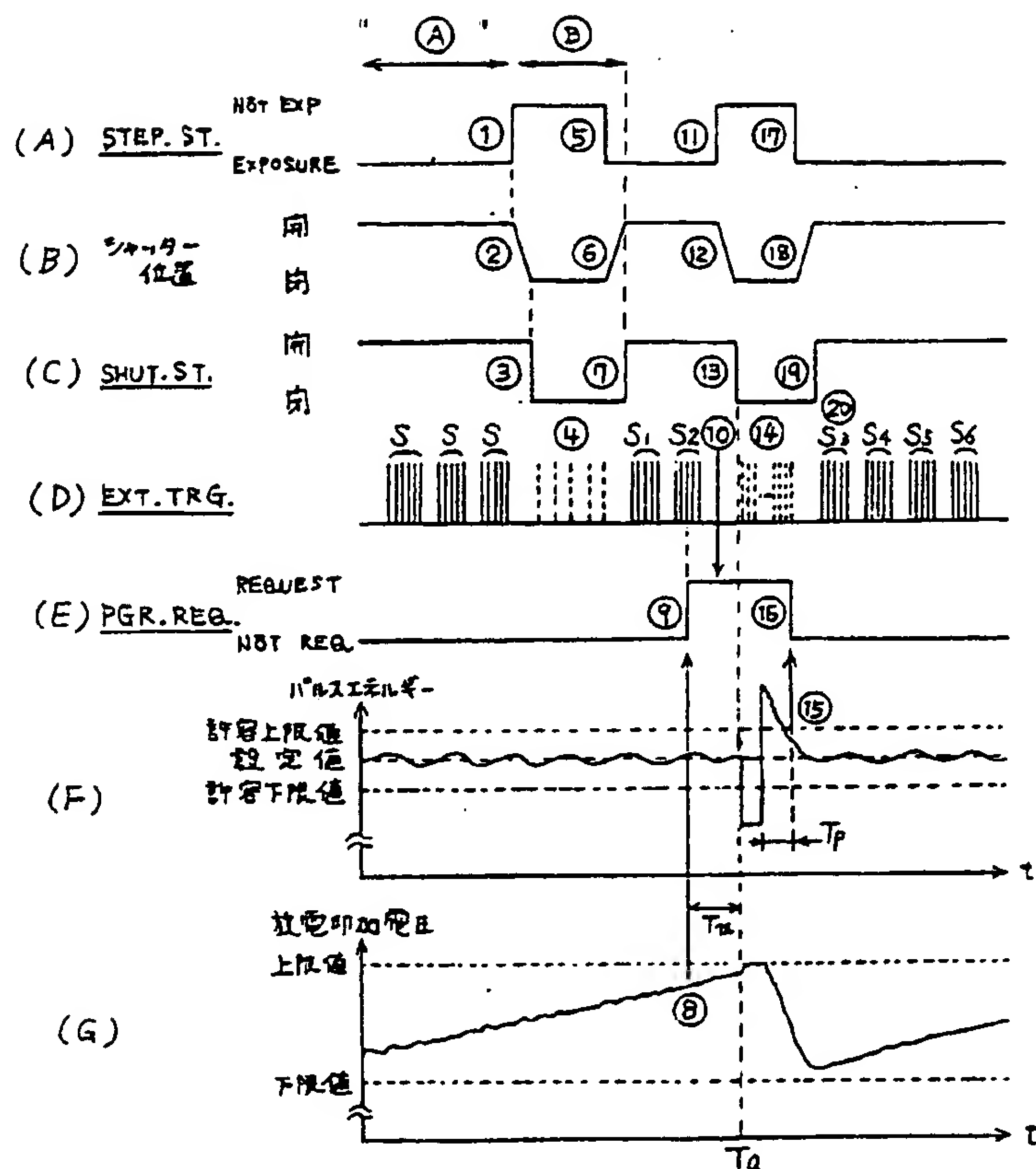
FM … 基準マーク板

出願人 株式会社ニコン

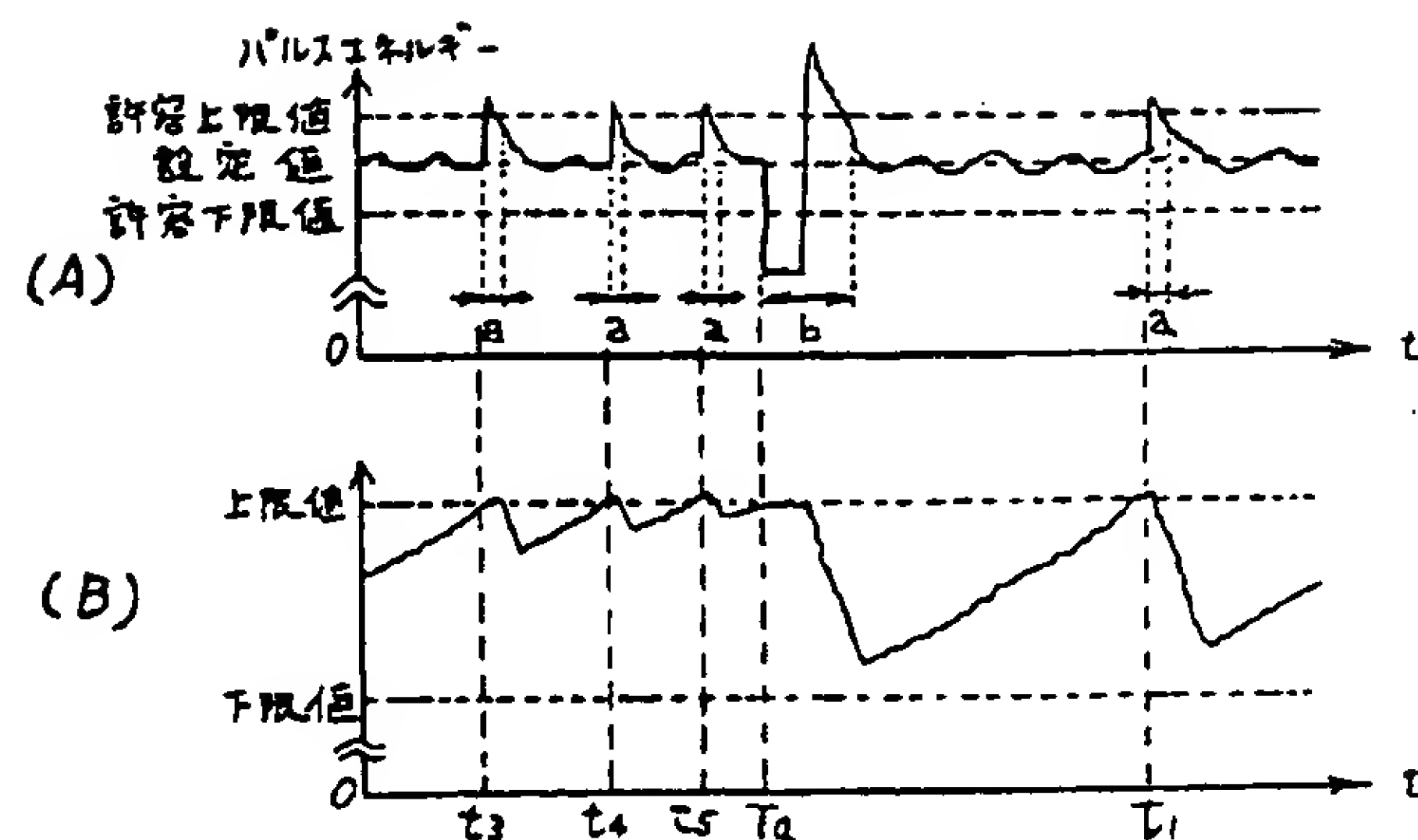
代理人 渡辺 隆 男



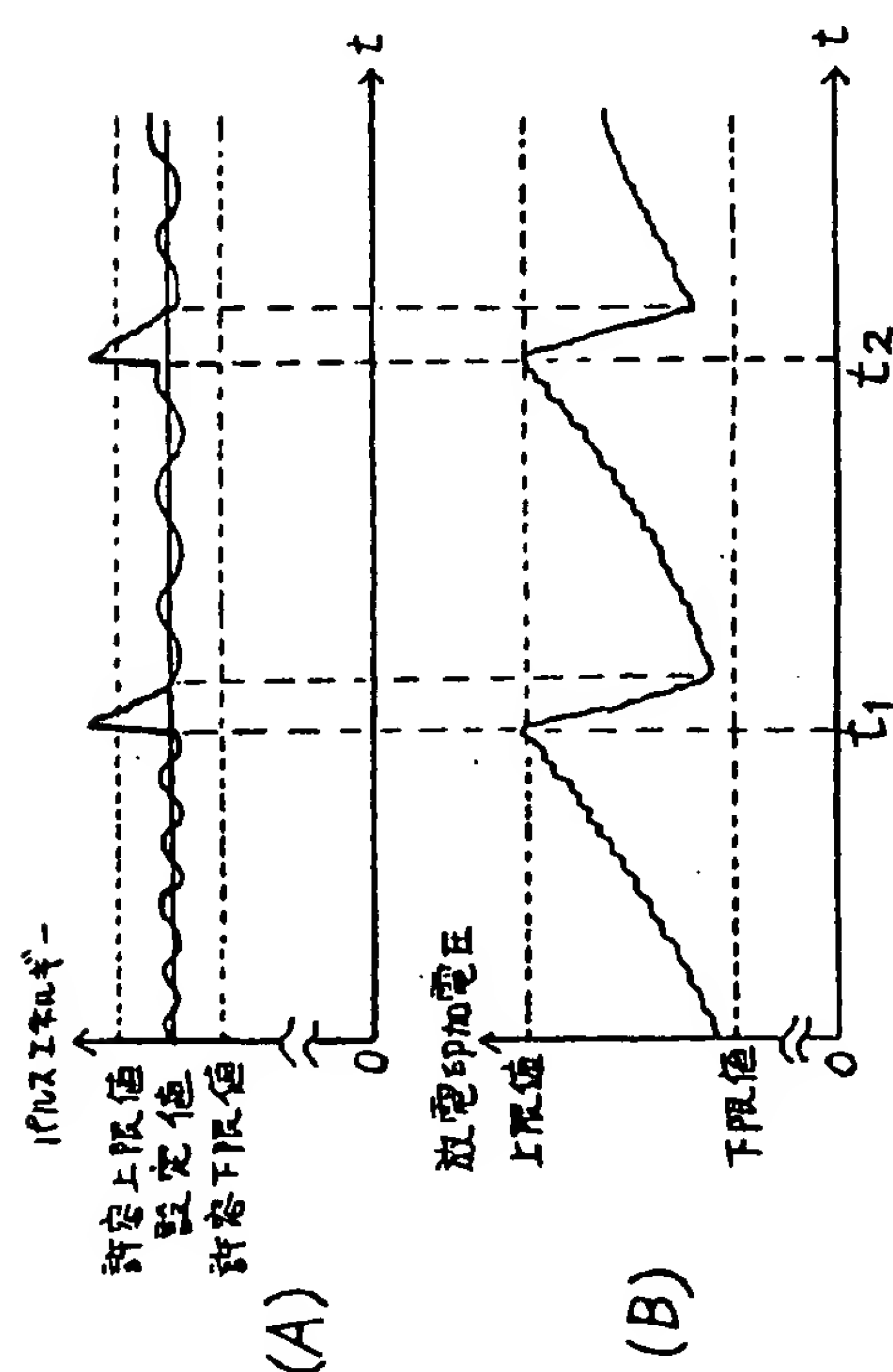
第1図



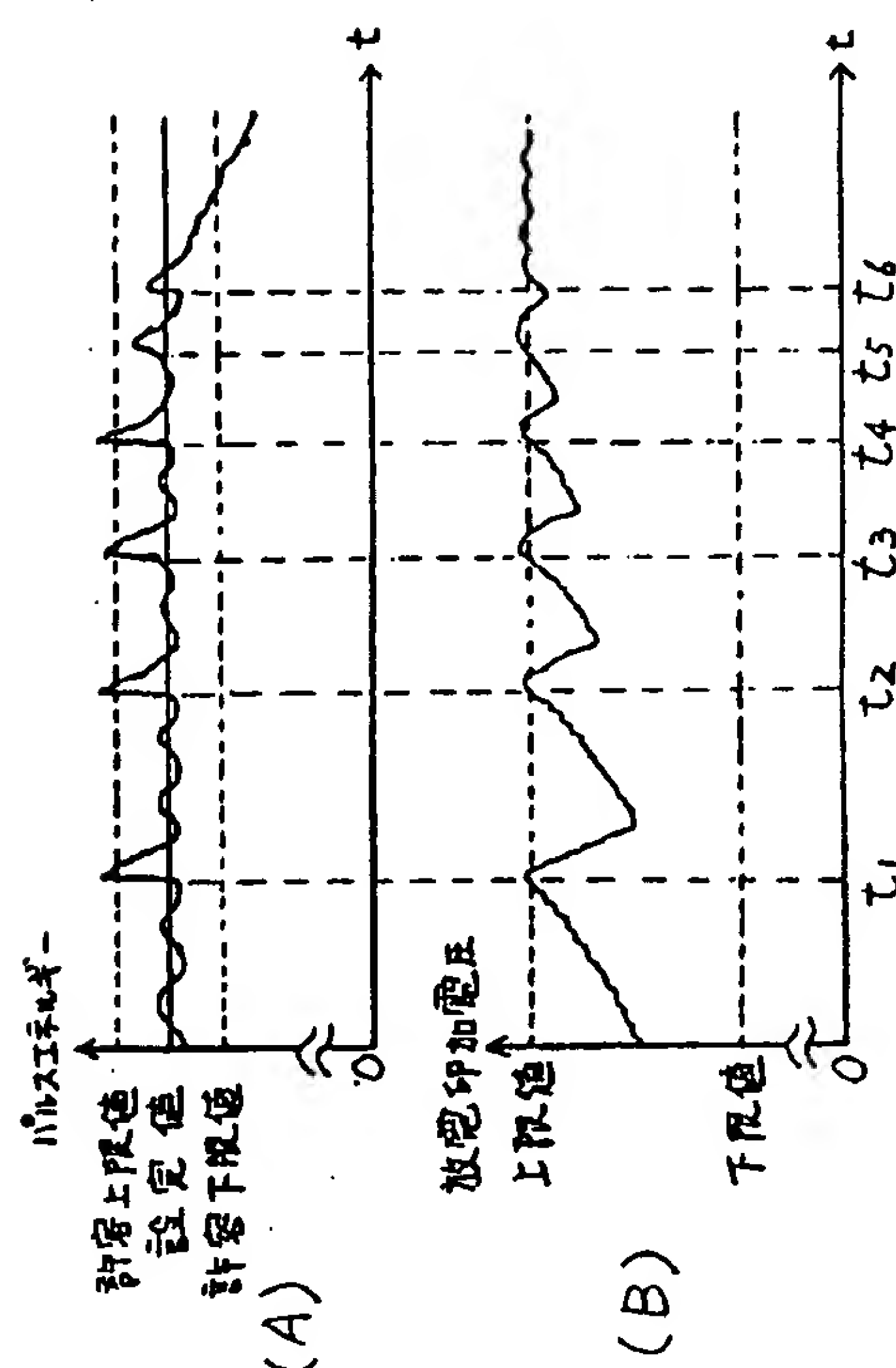
第 2 図



第 5 図



第 3 図



第 4 図